

DIALOG(R)File 352:Derwent WPI
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010817869 **Image available**

WPI Acc No: 1996-314822/199632

XRPX Acc No: N96-264980

Impurity simulation for semiconductor mfr. - by diffusing impurity
through heat treatment according to total amt. of impurity in impurity
diffusion area of semiconductor substrate

Patent Assignee: SONY CORP (SONY)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 8139044	A	19960531	JP 94303187	A	19941111	199632 B

Priority Applications (No Type Date): JP 94303187 A 19941111

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 8139044	A	19	H01L-021/22	

Abstract (Basic): JP 8139044 A

The method involves placing an impurity in a semiconductor substrate. The total amt. of impurity is calculated. An impurity diffusion area is obtained. The impurity is diffused by heat treatment based on the total amt. of impurity in the impurity diffusion area.

ADVANTAGE - Provides simple and high-speed technique for simulation. Provides ion implantation and heat diffusion on impurity diffusion area.

Dwg. 1/28

Title Terms: IMPURE; SIMULATE; SEMICONDUCTOR; MANUFACTURE; DIFFUSION;
IMPURE; THROUGH; HEAT; TREAT; ACCORD; TOTAL; AMOUNT; IMPURE; IMPURE;
DIFFUSION; AREA; SEMICONDUCTOR; SUBSTRATE

Derwent Class: T01; U11

International Patent Class (Main): H01L-021/22

International Patent Class (Additional): G06F-017/00; G06F-017/50

File Segment: EPI

DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05183544 **Image available**

SIMULATION METHOD IN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING PROCESS, FORMING METHOD OF
IMPURITY DIFFUSION REGION AND HEAT TREATMENT EQUIPMENT

PUB. NO.: 08-139044 [JP 8139044 A]
PUBLISHED: May 31, 1996 (19960531)
INVENTOR(s): OTANI HIDEKI
APPLICANT(s): SONY CORP [000218] (A Japanese Company or Corporation), JP
 (Japan)
APPL. NO.: 06-303187 [JP 94303187]
FILED: November 11, 1994 (19941111)
INTL CLASS: [6] H01L-021/22; G06F-017/00; G06F-017/50
JAPIO CLASS: 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components); 45.4
 (INFORMATION PROCESSING -- Computer Applications)
JAPIO KEYWORD: R097 (ELECTRONIC MATERIALS -- Metal Oxide Semiconductors,
 MOS); R100 (ELECTRONIC MATERIALS -- Ion Implantation); R129
 (ELECTRONIC MATERIALS -- Super High Density Integrated
 Circuits, LSI & GS

ABSTRACT

PURPOSE: To provide a simulation method capable of simulation concerning
impurity introduction and the impurity concentration distribution of a
thermal diffusion region wherein dependency on dosage is considered, while
applying a simple and high speed technique.

CONSTITUTION: In a semiconductor process, when impurities are introduced in
a semiconductor substrate and diffused by heat treatment like RTA, the
concentration distribution of impurities is simulated by a process
containing at least operation on the basis of dosage of introduced
impurities. In the heat treatment process, the dosage of introduced
impurities is measured (2), parameters are extracted (3) and operated (5)
about the measured dosage, and a sample is formed at need by a heat
treatment equipment part (1).

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-139044

(43) 公開日 平成8年(1996)5月31日

(51) Int. Cl.⁶

識別記号

F I

H01L 21/22

Z

// G06F 17/00

17/50

9069-5L

G06F 15/20

D

9191-5H

15/60

636

D

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全19頁)

(21) 出願番号 特願平6-303187

(22) 出願日 平成6年(1994)11月11日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 大谷 秀樹

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74) 代理人 弁理士 高月 亨

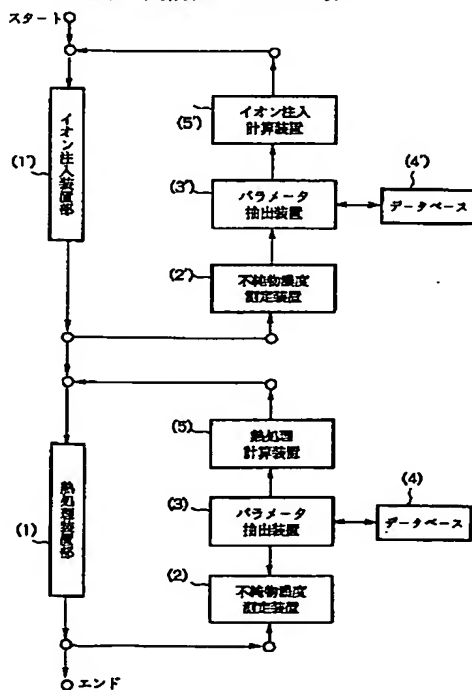
(54) 【発明の名称】 半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法、不純物拡散領域の形成方法、及び熱処理装置

(57) 【要約】

【目的】 簡便かつ高速な手法によりドーズ量依存性を考慮した不純物導入及び熱拡散領域の不純物濃度分布のシミュレーションを行うことができるシミュレーション方法を提供し、ドーズ量依存性を考慮してイオン注入及び熱拡散を実現できる不純物拡散領域の形成方法及び熱処理装置を提供する。

【構成】 半導体製造プロセスにおいて、半導体基板に不純物を導入し、R T A等の熱処理により不純物を拡散させる際、不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量（ドーズ）に基づく計算を含む工程によりシミュレートするもので、その熱処理プロセスにおいて、導入された不純物の総量を測定し（2）、これについてパラメータの抽出（3）及び計算（5）を行い、サンプルは必要に応じ熱処理装置部（1）で形成する。

図1 実施例1の半導体製造プロセスのフロー図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体基板に不純物を導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る場合について、

該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づく計算を含む工程によりシミュレートすることを特徴とする半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法。

【請求項 2】導入された不純物の総量に基づく計算が、不純物の拡散長への影響を考慮したものであることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法。

【請求項 3】半導体基板に不純物をイオン注入により導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る不純物拡散領域の形成方法であって、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づく計算を含む工程によりシミュレートし、

該シミュレートにより予測される不純物濃度分布に基づいて半導体基板への不純物のイオン注入及び熱処理を行うことを特徴とする不純物拡散領域の形成方法。

【請求項 4】半導体基板に不純物をイオン注入により導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る熱処理装置であって、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づくとともに、不純物の拡散長への影響を考慮した計算を含む工程により予測するシミュレート装置部と、該シミュレート装置部により予測される不純物濃度分布に基づいて半導体基板への不純物のイオン注入及び熱処理を行うイオン注入装置部及び熱処理装置部を備えることを特徴とする熱処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法、不純物拡散領域の形成方法、及び熱処理装置に関する。特に、半導体基板に不純物を導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る工程を有する場合についての半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法、不純物拡散領域の形成方法、及び熱処理装置に関するものである。

【0002】本発明は、例えば、半導体製造プロセスで行われている半導体内への不純物注入後の熱処理による不純物の再分布について、半導体プロセスシミュレーションによる不純物濃度分布の予測の向上と、その予測を半導体プロセスにフィードバックするシステムとして利用することができる。

【0003】

【従来の技術】従来、半導体製造プロセスにおいてイオン注入等の不純物導入を行う場合は、実測である SIMS (Secondary Ion Mass Spec

troscopy) 測定などにより、不純物濃度分布を確認する必要がある。一方、この不純物濃度分布をシミュレーションにより予測することが行われている。

【0004】半導体製造プロセスには、半導体内に注入した不純物を熱処理によって活性化する工程がある。特に近年、高温短時間の熱処理 (RTA: Rapid Thermal Annealing) を用いるプロセスが定着している。活性化した不純物濃度分布を半導体プロセスシミュレーションによって予測することはよく行われていることだが、現在用いられている従来モデルの RTA のシミュレーションでは、不純物総量 (ドーズ。以下本明細書中、ドーズ量と称することもある) による差が考慮されていない。しかし、現実にはドーズの高低によって拡散の様子が異なり、不純物濃度分布に差が生じている。

【0005】即ち、従来のシミュレーション方法に不純物総量 (ドーズ量) 依存性を導入するためには、計算に用いる数千個以上のパラメータを設定し直したファイルをドーズ量を変える毎に個々に用意しなければならないので、煩雑であって実現が困難であり、実現したとしても計算に膨大な時間を要するものにならざるを得ない。例えば点欠陥モジュールによるシミュレーションは、複雑で計算時間が極めて長く、必要とするパラメータも非常に多くて、実用的でない。これに更に熱処理の条件を加えると、ますます実現性は乏しくなる。

【0006】従来は上記のように、不純物のドーズによる差が半導体プロセスシミュレータで計算できないので、プロセスを変える毎に多くの実験結果を必要とする。このようにプロセスを変える毎に多くの実験結果を必要とするので、同時にプロセス毎に半導体プロセスシミュレーションに使うパラメータ値を大量に必要とすることとなり、結局精度の良いシミュレーションを実用的に用いることは困難であった。

【0007】このため、例えば LSI 等の半導体製造技術に欠かせない不純物導入 (イオン注入) 及びその熱拡散技術については、不純物総量 (ドーズ) の依存性が重要となっているにも拘らず、ドーズ量依存性を考慮した不純物濃度の正確かつ簡便な計算はなし得ず、よってかかるドーズ量依存性を考慮したイオン注入・熱処理技術も十分には確立できていないのが現状である。

【0008】

【発明の目的】本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、簡便かつ高速な手法によりドーズ量依存性を考慮した不純物導入及び熱拡散領域の不純物濃度分布のシミュレーションを行うことができるシミュレーション方法を提供し、かつこのようなドーズ量依存性を考慮してイオン注入及び熱拡散を実現できる不純物拡散領域の形成方法及び熱処理装置を提供することを目的とする。

【0009】

【目的を達成するための手段】本出願の請求項 1 の発明

は、半導体基板に不純物を導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る場合について、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づく計算を含む工程によりシミュレートすることを特徴とする半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法であって、これにより上記目的を達成するものである。

【0010】本出願の請求項2の発明は、導入された不純物の総量に基づく計算が、不純物の拡散長への影響を考慮したものであることを特徴とする請求項1に記載の半導体製造プロセスにおけるシミュレーション方法であって、これにより上記目的を達成するものである。

【0011】本出願の請求項3の発明は、半導体基板に不純物をイオン注入により導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る不純物拡散領域の形成方法であって、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づく計算を含む工程によりシミュレートし、該シミュレートにより予測される不純物濃度分布に基づいて半導体基板への不純物のイオン注入及び熱処理を行うことを特徴とする不純物拡散領域の形成方法であって、これにより上記目的を達成するものである。

【0012】本出願の請求項4の発明は、半導体基板に不純物をイオン注入により導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る熱処理装置であって、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づくとともに、不純物の拡散長への影響を考慮した計算を含む工程により予測するシミュレート装置部と、該シミュレート装置部により予測される不純物濃度分布に基づいて半導体基板への不純物のイオン注入及び熱処理を行うイオン注入装置部及び熱処理装置部を備えることを特徴とする熱処理装置であって、これにより上記目的を達成するものである。

【0013】本発明は、半導体プロセスシミュレーションによって、半導体基板内の不純物濃度分布を高精度に計算、予測する方法を取り入れた半導体プロセス設計において、上記シミュレーションに不純物総量（ドーズ）の依存性を考慮した高温短時間の熱処理（RTA）について新しい計算式を用いて、実験結果による不純物濃度分布を高精度に計算、再現する態様で用いることができる。

【0014】また、上記実験結果による不純物濃度分布から計算に必要な各パラメータ値を抽出し、上記計算から得られた結果を半導体プロセス設計にフィードバックして、より高精度な半導体プロセス設計を行うシステムとして具体化することができる。

【0015】

【作用】本発明によれば、半導体プロセスシミュレーションの熱処理（例えばRTA）の計算に新しく不純物総量（ドーズ）依存性を考慮したことによって、実験結果

をよく再現できるようになった。

【0016】かつ、新しく実験を行うことなく従来の実験結果を整理すること、または最小限の追加実験によって、上記の計算式を利用することにより、実験結果のない範囲まで半導体プロセスシミュレーションで予測することが可能となる。また、プロセス毎に半導体プロセスシミュレーションに多くのパラメータ値を持つ必要がなく、最小限のパラメータ値をもって計算を行うことができる。

【0017】以上より、半導体プロセスにおいて、半導体内の不純物濃度分布を容易に予測することができるようになった。更に、この予測によって、所望の不純物濃度分布をもつイオン注入及び熱処理を精度良く行う技術を提供することが可能となった。

【0018】

【実施例】以下本発明の実施例について、図面を参照して説明する。但し当然のことではあるが、本発明は以下の実施例により限定を受けるものではない。

【0019】実施例1

この実施例は、本発明を、LSIを構成するMOS半導体装置やバイポーラ半導体装置の製造プロセスに適用したものである。

【0020】本実施例の半導体製造プロセスにおいては、半導体基板に不純物を導入し、熱処理（例えばRTA）を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る場合について、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量（ドーズ）に基づく計算を含む工程によりシミュレートするが、より具体的には、図1に示すように、その熱処理プロセスにおいて、導入された不純物の総量を測定し（2）、これについてパラメータの抽出（3）及び計算（5）を行って、熱処理のシミュレートを行う。図1中、符号（1）は熱処理装置部を示し、符号（4）はデータベースを示す。

【0021】本実施例ではイオン注入プロセスにおいても、図1に示すように、導入された不純物の総量を測定し（2'）、これについてパラメータの抽出（3'）及び計算（5'）を行って、熱処理のシミュレートを行うようにした。符号（1'）はイオン注入装置部、符号（4'）はデータベースである。

【0022】特に本実施例では、導入された不純物の総量に基づく計算が、不純物の拡散長への影響を考慮したものとした。

【0023】また本実施例は、このシミュレート結果を、イオン注入・熱処理プロセスに具体的にフィードバックして半導体製造を行う構成にしたものである。即ち、本実施例では、半導体基板に不純物をイオン注入により導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得る際、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づく計算

を含む工程によりシミュレートし、該シミュレートにより予測される不純物分布に基づいて半導体基板への不純物のイオン注入及び熱処理を行うようにした。装置構成としては、半導体基板に不純物をイオン注入により導入し、熱処理を行って不純物を拡散させて不純物拡散領域を得るイオン注入・熱処理装置であって、該不純物拡散領域の不純物の濃度分布を、少なくとも導入された不純物の総量に基づくとともに、不純物の拡散長への影響を考慮した計算を含む工程により予測するシミュレート装置部（図 1 の（2）～（5）、また（2'）～

（5'））と、該シミュレート装置部により予測される不純物濃度分布に基づいて半導体基板への不純物のイオン注入及び熱処理を行うイオン注入装置部（1'）及び熱処理装置部（1）を備える。

【0024】本実施例のプロセスでは、実際の半導体製造に先立って、以下の手順によって、計算に必要なパラメータを抽出する。この作業は、新しい試料を作製するたびに行っておき、データベースとして蓄え、次の試料作製に役立てる。なお、パラメータを作製試料に基づくのではなく、既知資料、論文等から求め、これをデータベースに入れてパラメータとして用いるようにすることができる。よって、図 1 におけるパラメータ抽出（3）が不要な構成とすることもできる。

【0025】本実施例では、以下の手順を行った。

①熱処理装置部（1）で、計算に必要なパラメータを抽出するために必要な試料作製を行う。

②不純物濃度測定装置（2）で、上記熱処理装置部

（1）で作った試料の不純物濃度の測定を行う（ここでは SIMS、SR 等の実測手段を使用する）。

③上記②の結果と、後に示す新規に創案した計算モデル式とデータベース（4）（過去の測定結果や論文などに基づく）を元に、パラメータ抽出装置（3）で、計算式のために要するパラメータ抽出を行う。

④上記③の結果得られたパラメータを熱処理計算装置（5）（必要により更に、イオン注入計算装置（5'））に導入し、熱処理装置部（1）で作製する試料の不純物濃度分布の予測計算をこの熱処理計算装置（5）で行う。

【0026】以上から得られた結果を用いて、実際につくる半導体デバイスの特性予測を行う。

【0027】本実施例は各種半導体装置製造プロセスに適用できるものであるが、図 2 には、本実施例を適用できる MOS トランジスタ（MOS: Metal Oxide semiconductor）の概略断面図を示す。図 2 において、基板 10（単結晶 Si 等の Si 基板や、その他半導体基板）に注入した活性化した不純物拡散領域 11、12 の不純物濃度分布を予測する。本実施例の半導体プロセスシミュレーションでは、このような MOS トランジスタをはじめ、バイポーラトランジスタなどにも同様に適用できるが、ここでは MOS トランジ

スタを代表して説明を進める。なお図 2 中、符号 13 はゲート絶縁膜をなす SiO_2 等の絶縁体、14 はポリ Si 等から成るゲート電極、15S、15G、15D は各々ソース、ゲート、ドレインの各引出し電極である。通常半導体作製工程では、まず、イオン注入（不純物の注入）によって半導体基板 10 内に不純物を注入し、その後熱処理を行うことによって不純物の活性化、再分布を行って不純物拡散領域 11、12 を形成して、所望の特性が得られるようにしている。

10 【0028】従来の手法のシミュレーションによって得られた図 2 の A-A 断面での不純物濃度分布の模式図を、図 3 に示す。一方、実測によって得られた同断面での不純物濃度分布の模式図を、図 4 に示す。いずれも、イオン注入を行った後、熱処理を行った場合についての分布である。以後、この不純物濃度分布を例にとって記述する。

【0029】従来、一般的に用いられている解析的な手法によるシミュレーションでは、図 3 に示すように、ドーズ（不純物総量（図 3 及び図 4 の不純物濃度分布の面積に相当する））を変化させた場合、不純物濃度分布は、図 3 の点線で示すように縦軸方向へ平行移動する。即ち、図 3 中符号 I で示す分布を中ドーズとすると、高ドーズ I I の場合は縦方向上方へシフトし、低ドーズ I I の場合は縦方向下方へシフトする。

【0030】一方、実測による実験結果では、図 4 の点線のように、ドーズが或る量より大きくなるとプロジェクションレンジ R₀ を中心に生ずる分布曲線の頂部の凸状部の幅 a が、高ドーズ I I' になれば小さくなり、低ドーズ I I' になれば大きくなることが知られている（I' で中ドーズの場合を示す）。これはまずイオン注入時に生じ、その後の熱処理後にも生じるものであるので、熱処理後の不純物濃度分布をシミュレートする場合に大きな問題となる。従来の手法では、図 3 に示すように、この実際の挙動はシミュレートできなかった。よって本実施例ではこれを解決して、イオン注入後に熱処理を高温短時間処理（RTA: Rapid Thermal Annealing）で 1 回行った後の不純物濃度分布を、ドーズの変化に合わせて、従来より高精度に予測するシミュレータを実現した。

40 【0031】先に記したように、イオン注入後熱処理を行った実験結果では、図 4 の点線よのように、上記幅 a は高ドーズになれば小さくなり、低ドーズになれば大きくなる。また、分布の底部の幅 b（深部における広がり）はあるドーズでもっとも大きくなり、ドーズがそれ以上でもそれ以下でも減少していくことが知られている。そこで、a、b をドーズに合わせて変化するように新規に計算モデル式を立案し、実験結果を高精度に予測できるようにした。

【0032】以下、この新規計算モデル式について記す。

【0033】従来の熱処理による不純物の拡散方程式は、以下のように表される。

$$\partial C / \partial t = -\operatorname{div} J$$

$$J = -D \operatorname{grad} C$$

(1)

【0035】ここで、Cは不純物濃度、Dは拡散定数、tは拡散時間（熱処理時間）である。RTAの計算は拡散定数Dに時間依存性を与えて、以下のように表され

$$D = D(t) = D_0 \{1 + K \exp(-t/\tau)\} \quad (2)$$

【0037】ここで、 τ は時定数、 D_0 は増速拡散のない（時間依存性のない）通常拡散定数である。式（2）は図3のbに關与する。

【0038】また、図3のaはイオン注入時のパラメー

$$a = (Y_L \times \sigma - R_p) + (R_p - Y_0 \times \sigma) \quad (3)$$

【0040】ここで、 Y_L 、 Y_0 は定数である。

【0041】従来の計算方法では、式（1）（2）

（3）を用いて不純物濃度分布を予測している。すなわち、 τ 、 K 、 Y_L 、 Y_0 は一定値であり、図3の点線のような計算結果となる。従って、図3のように、a、bの幅がドーズによらず一定となってしまう、図4のようなドーズ依存性は計算できない。

【0042】そこで、本発明は、図3のa、bの値を改善するため、D、aにドーズの依存性を持たせた。すなわち、

$$D = D(\text{dose}, t) = D_0 \left\{ 1 + K_0 \times (\text{dose})^{K_1} \times \exp \left(\frac{-t}{\tau_0 + \tau_1 \times (\text{dose})} \right) \right\}$$

$$K = K(\text{dose}) = K_0 \times (\text{dose})^{K_2}$$

$$\tau = \tau(\text{dose}) = \tau_0 + \tau_1 \times (\text{dose}) \quad (4)$$

【0046】また、式（3）には以下のようにドーズ依存性を与えた。

$$a = \{ (Y_{L0} + Y_{L1} \times \log_{10}(\text{dose})) \times \sigma - R_p \} + \{ R_p - (Y_{00} + Y_{01} \times \log_{10}(\text{dose})) \times \sigma \}$$

$$Y_L = Y_L(\text{dose}) = Y_{L0} + Y_{L1} \times \log_{10}(\text{dose}) \quad (5)$$

$$Y_0 = Y_0(\text{dose}) = Y_{00} + Y_{01} \times \log_{10}(\text{dose})$$

【0048】式（1）（4）（5）を用いて計算することにより、図4のように、イオン注入とRTA後の不純物濃度分布の計算を、ドーズの変化に合わせて予測できるようになる。

【0049】従って、このシミュレータを用いることにより、LSIなどの半導体の特性に關与するPNジャンクション深さや不純物総量などが、従来より精度良く予測できるようになった。

【0050】次に、具体的なプロセスを説明する。まず、試料の概要を記す。本実施例では下記試料を使用した。

【0051】①基板は、高抵抗、N型、面方位{100}、単結晶Siを用いる。

②まず、基板表面に10nmの酸化膜を形成する。

【0034】

【数1】

る。

【0036】

【数2】

る。タ R_p 。（分布のピーク位置）と σ （分布の広がり）を用いて、以下のように表される。

【0039】

【数3】

【0043】

【数4】 $D = D(\text{dose}, t)$ ($K = K(\text{dose})$, $\tau = \tau(\text{dose})$), $a = a(\text{dose})$, ($Y_L = Y_L(\text{dose})$, $Y_0 = Y_0(\text{dose})$)とした。（doseはドーズである。）

【0044】実験結果から、式（2）に以下のようにドーズ依存性を与えた。

【0045】

【数5】

【0047】

【数6】

③次に、 BF_3 を注入エネルギー20keVでイオン注入する。ドーズは、 1×10^{14} 、 3×10^{14} 、 1×10^{15} 、 3×10^{15} atoms/cm²の4条件である。

④それぞれの試料について、900℃でRTAを行って、不純物の活性化、再分布を行う。拡散時間は、1、3、10、30、100秒の5条件である。

⑤以上20試料（イオン注入直後の試料も含めると40試料）について、SIMS測定を行う。

【0052】以上の試料に対して、式（1）（4）（5）を用いて計算した。 $K = K(\text{dose})$, $\tau = \tau(\text{dose})$, $Y_L = Y_L(\text{dose})$, $Y_0 = Y_0(\text{dose})$ は、各々以下のような値を用いた。

【0053】

【数7】

$$\begin{aligned}
 K &= K_0 \times (dose)^{K_s} = 6.55304 \times 10^7 \times (dose)^{-3.77523 \times 10^{-1}} \\
 \tau &= \tau_0 + \tau_1 \times (dose) \\
 &= \begin{cases} 0.5 & (dose \leq 1 \times 10^{14}) \\ -113.936 + 8.174 \times (dose) & (1 \times 10^{14} < dose < 3 \times 10^{14}) \\ 4.4 & (dose \geq 3 \times 10^{14}) \end{cases} \\
 Y_L &= Y_{L0} + Y_{L1} \times \log_{10}(dose) = -30.6222 \times 2.12653 \times \log_{10}(dose) \\
 Y_U &= 10.0
 \end{aligned}$$

【0054】ここで、 $dose$ は $atoms/cm^2$ 、 τ 、 τ_0 、 τ_1 は s 、 Y_L 、 Y_{L0} 、 Y_{L1} 、 Y_U は μm の次元を持つ。

【0055】なお、上記の実施例ではイオン注入が非常に浅い場合で、図4の a が Si 基板表面まで達しているため、 $Y_U - dose$ の関係式が導きにくく、よって、 Y_U は十分大きくとり一定値とした。

【0056】上述の関係式を図示したのが図5から図7である。図5は τ -ドーズ、図6は K -ドーズ、図7は Y_L -ドーズの関係図をそれぞれ示す。

【0057】次に、本実施例により、イオン注入はドーズ依存性を考慮したPearson関数を用い、熱処理は、上記新計算モデルを用いて、不純物濃度分布を計算した結果を示す。実測であるSIMS測定結果と重ね合わせて、良好に一致することを示すが、対比のため、式(1)(2)(3)を用いて従来の計算による結果とSIMSとを重ね合わせたものも示す。ここでは、本実施例の効果が顕著に現れる $1 \times 10^{15} atoms/cm^2$ と $3 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の2つのドーズ量の場合の結果を示す。

【0058】図8、図10、図12、図14、図16、図18、図20、図22、図24、図26は、SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) の結果(B)と、本実施例により、特に本実施例の熱処理計算装置(5)で計算したPearson関数の結果(A)を重ねた図である。

【0059】また、図9、図11、図13、図15、図17、図19、図21、図23、図25、図27は、SIMSの結果(B)と従来の計算結果(C)を重ねた図である。

【0060】図8及び図9は、ドーズ量が $1 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合について、拡散時間が1秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図8)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図9)。

【0061】図10及び図11は、同じくドーズ量が $1 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合についてであるが、拡散時間が3秒の場合の実施例1の計算結果(A)とS

IMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図10)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図11)。

【0062】図12及び図13は、同じくドーズ量が $1 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合についてであるが、拡散時間が10秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図12)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図13)。

【0063】図14及び図15は、同じくドーズ量が $1 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合についてであるが、拡散時間が30秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図14)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図15)。

【0064】図16及び図17は、同じくドーズ量が $1 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合についてであるが、拡散時間が100秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図16)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図17)。

【0065】図18及び図19は、ドーズ量が $3 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合について、拡散時間が1秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図18)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図19)。

【0066】図20及び図21は、同じくドーズ量が $3 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合についてであるが、拡散時間が3秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図20)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図21)。

【0067】図22及び図23は、同じくドーズ量が $3 \times 10^{15} atoms/cm^2$ の場合についてであるが、拡散時間が10秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図22)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図23)。

【0068】図24及び図25は、同じくドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ の場合についてであるが、拡散時間が30秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図24)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図25)。

【0069】図26及び図27は、同じくドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ の場合についてであるが、拡散時間が100秒の場合の実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図であり(図26)、また従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である(図27)。

【0070】従来の計算結果(C)は、不純物注入総量(ドーズ量)依存性が扱われていないので、実測値であるSIMS測定の結果(B)とかけ離れているのに対し、本実施例の計算結果(A)は、実測結果とよく一致している。本実施例では特に、ドーズが $3 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ を超える量の場合について、従来の計算より良い結果が与えられた。

【0071】本実施例によれば、イオン注入・熱処理による不純物濃度の測定回数の削減が可能となった。また、不純物注入総量(ドーズ量)依存性を考慮した不純物導入及び熱処理による不純物濃度の計算を新規計算式(計算モデル)の導入により、簡便な計算手法で可能とした。

【0072】かつ、従来の簡便な計算手法を応用することにより、計算時間を短縮できた。

【0073】更に、計算に必要なパラメータを大幅に削減し、パラメータ抽出を簡便にした。パラメータの削減により、計算機内のメモリーを削減できた。

【0074】実施例2

実施例1では、熱処理装置部(1)とイオン注入装置部(1')との双方について、各々独立の不純物濃度測定装置(2)及び(2')、パラメータ抽出装置(3)及び(3')、熱処理計算装置(5)及びイオン注入計算装置(5')を設けたが、本実施例では、図28に示すように、熱処理装置部(1)とイオン注入装置部

(1')とに共通の不純物濃度測定装置(2)、パラメータ抽出装置(3)、熱処理イオン注入計算装置(5)を用いるようにした。データベース(4)も共通とした。本実施例も、実施例1と同様の作用効果を示す。

【0075】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、簡便かつ高速な手法によりドーズ量依存性を考慮した不純物導入及び熱拡散領域の不純物濃度分布のシミュレーションを行うことができるシミュレーション方法を提供し、かつこのようなドーズ量依存性を考慮してイオン注入及び熱拡散を実現できる不純物拡散領域の形成方法、及び熱処理装置を提供することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の半導体製造プロセスのフロー図である。

【図2】実施例1が適用できる典型的なMOSトランジスタの断面を示す図である。

【図3】図2のA-A断面について、従来のシミュレーションによる不純物濃度分布のドーズ依存性を示す模式図である。

【図4】図2のA-A断面について、実験結果による不純物濃度分布のドーズ依存性を示す模式図である。

10 【図5】拡散定数の拡散時間依存性を表すパラメータ τ のドーズ量依存性を示す図である。

【図6】拡散定数の拡散時間依存性を表すパラメータKのドーズ量依存性を示す図である。

【図7】アモルファス化領域に関するパラメータ Y_L のドーズ依存性を示す図である。

【図8】ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間1秒の場合について、実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

20 【図9】同じく、従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

【図10】ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間3秒の場合について、実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示す図である。

【図11】同じく、従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

30 【図12】ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間10秒の場合について、実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示す図である。

【図13】同じく、従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

【図14】ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間30秒の場合について、実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示す図である。

【図15】同じく、従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

40 【図16】ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間100秒の場合について、実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示す図である。

【図17】同じく、従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

【図18】ドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間1秒の場合について、実施例1の計算結果(A)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

50 【図19】同じく、従来法の計算結果(C)とSIMSの測定結果(B)を重ねて示した図である。

【図 2 0】ドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間 3 秒の場合について、実施例 1 の計算結果 (A) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示す図である。

【図 2 1】同じく、従来法の計算結果 (C) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示した図である。

【図 2 2】ドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間 10 秒の場合について、実施例 1 の計算結果 (A) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示す図である。

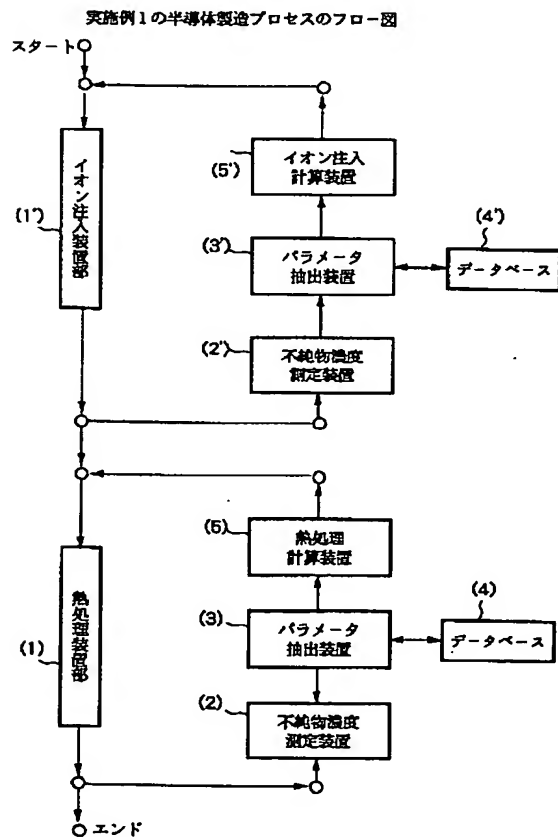
【図 2 3】同じく、従来法の計算結果 (C) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示した図である。

【図 2 4】ドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、拡散時間 30 秒の場合について、実施例 1 の計算結果 (A) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示す図である。

【図 2 5】同じく、従来法の計算結果 (C) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示した図である。

【図 2 6】ドーズ量が $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、

【図 1】



拡散時間 100 秒の場合について、実施例 1 の計算結果 (A) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示す図である。

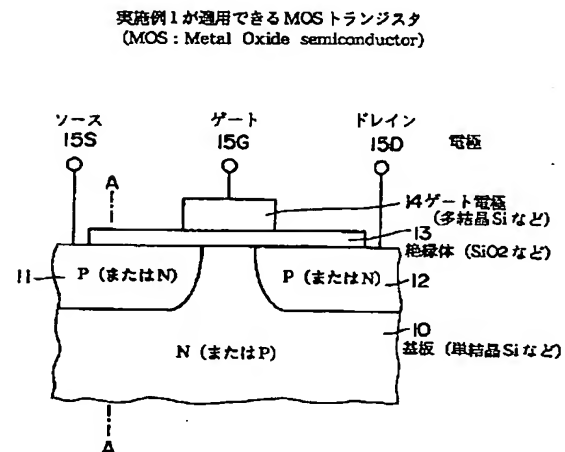
【図 2 7】同じく、従来法の計算結果 (C) と SIMS の測定結果 (B) を重ねて示した図である。

【図 2 8】実施例 2 の半導体製造プロセスのフロー図である。

【符号の説明】

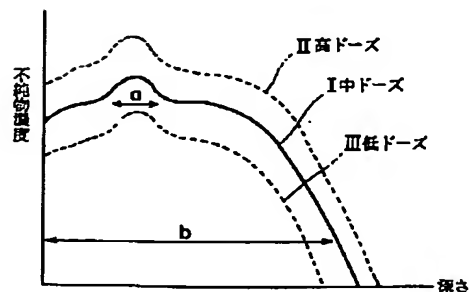
- (1) 熱処理装置部
- (2) 不純物濃度分布測定 (装置)
- (3) パラメータ抽出 (装置)
- (4) データベース
- (5) 熱処理計算 (装置) (熱処理-イオン注入計算 (装置))
- (1') イオン注入装置部
- (2') 不純物濃度分布測定 (装置)
- (3') パラメータ抽出 (装置)
- (4') データベース
- (5') イオン注入計算 (装置)

【図 2】



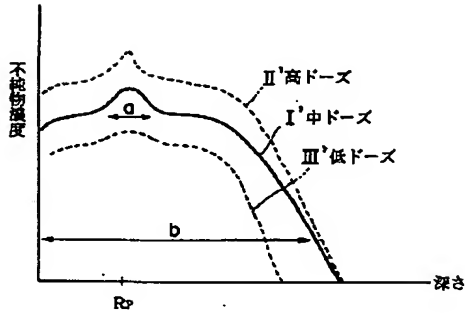
【図 3】

従来のシミュレーションによる不純物濃度分布のドーズ依存性 (図 2 の A-A 断面、模式図)



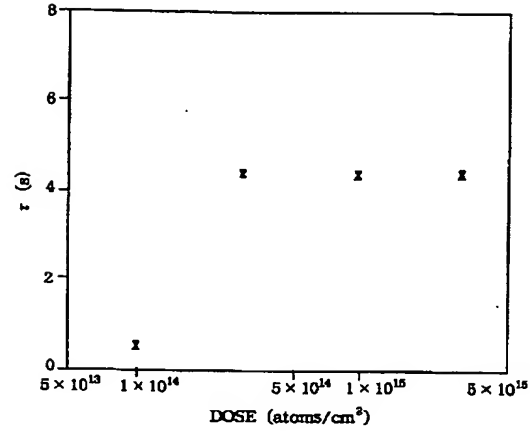
【図4】

実験結果による不純物濃度分布
のドーズ依存性 (図2のA-A断面、模式図)



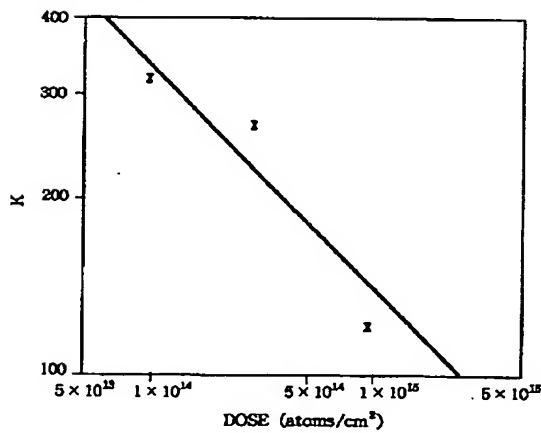
【図5】

拡散定数の拡散時間依存性を表すパラメータのドーズ量依存性
(注入イオン種 BF_3 , 注入エネルギー 20keV , 拡散温度 900°C ,
ドーズ量 1×10^{14} , 3×10^{14} , 1×10^{15} , $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$)



【図6】

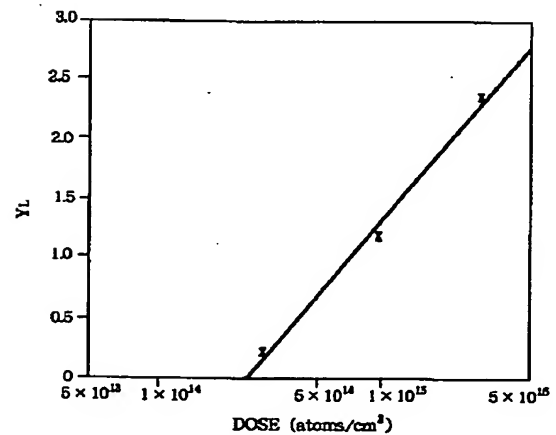
拡散定数の拡散時間依存性を表すパラメータ K のドーズ量依存性
 $K = K_0 = 6.56304 \times (\text{ドーズ量})^{-3.77523 \times 10^{-1}}$
(注入イオン種 BF_3 , 注入エネルギー 20keV , 拡散温度 900°C ,
ドーズ量 1×10^{14} , 3×10^{14} , 1×10^{15} , $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$)



【図7】

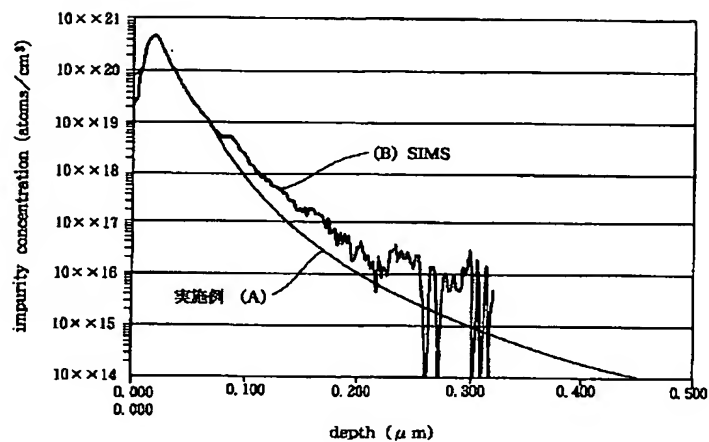
アモルファス化領域に関するパラメータ Y_L のドーズ量依存性
$$Y_L = \begin{cases} 2.12653 \times \log_{10}(\text{ドーズ量}) - 3.06222 \times 10^1 & (\text{ドーズ量が } 2.512 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2 \text{ より高い場合}) \\ 0 & (\text{ドーズ量が } 2.512 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2 \text{ 以下の場合}) \end{cases}$$

(注入イオン種 BF_3 , 注入エネルギー 20keV , 拡散温度 900°C ,
ドーズ量 1×10^{14} , 3×10^{14} , 1×10^{15} , $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$)



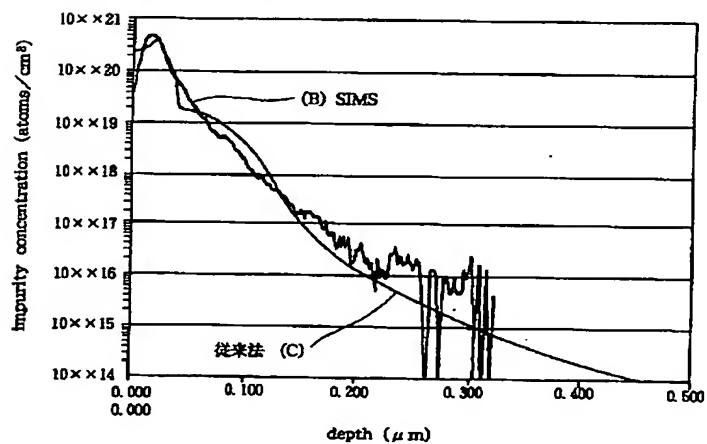
【図 8】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 1sec)

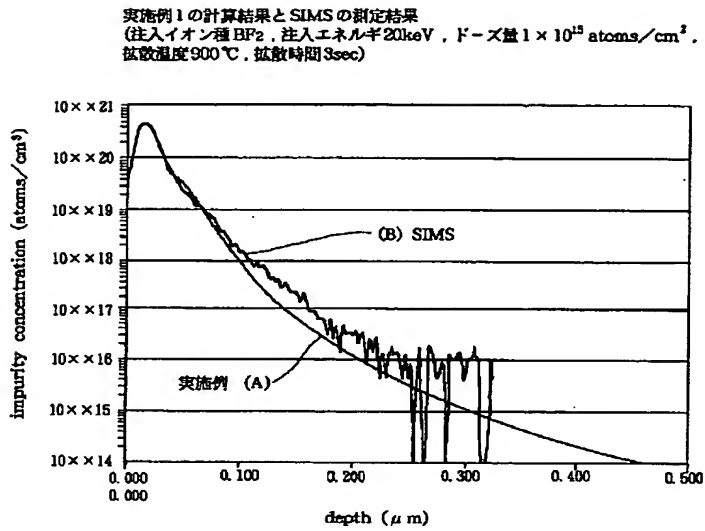


【図 9】

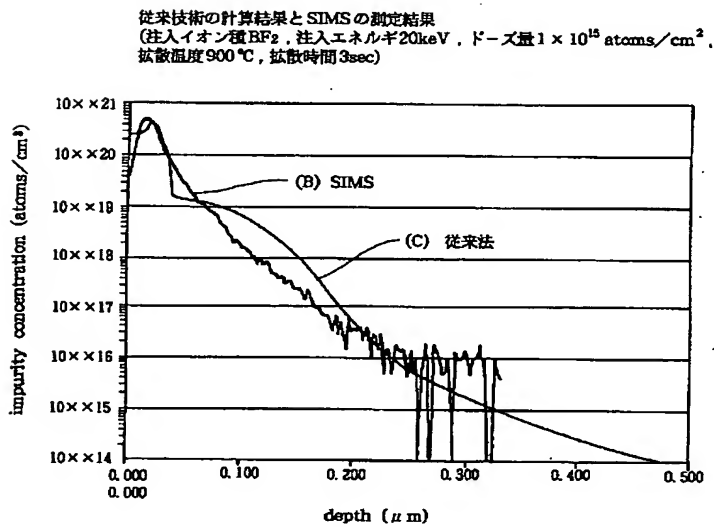
従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 1sec)



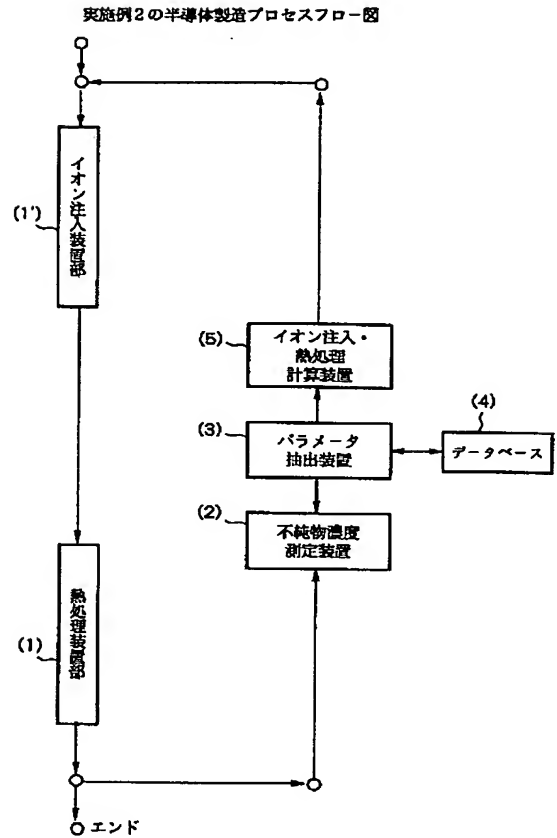
【図 10】



【図 11】

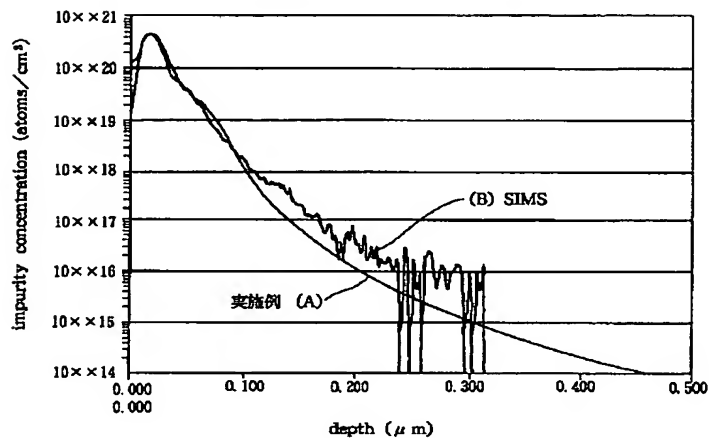


【図 28】



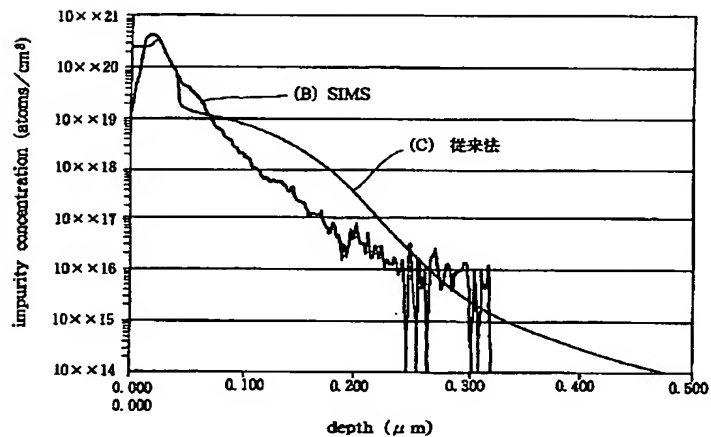
【図 1 2】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 10sec)



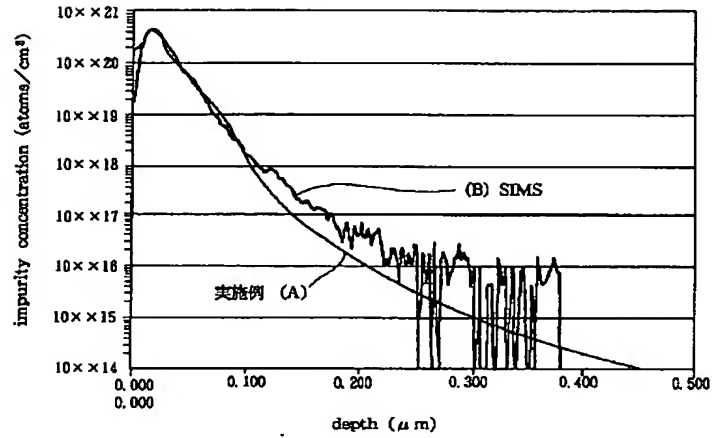
【図 1 3】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 10sec)



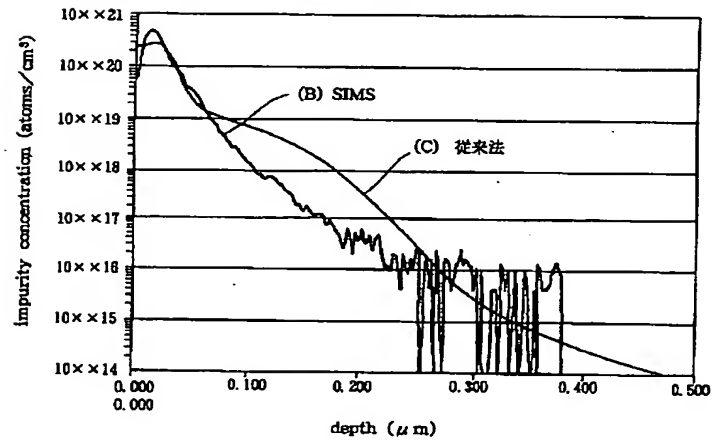
【図 1 4】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900℃ , 拡散時間 30sec)



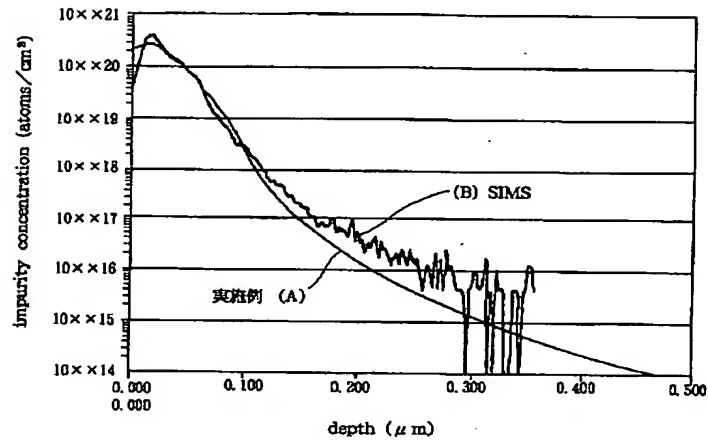
【図 1 5】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900℃ , 拡散時間 30sec)



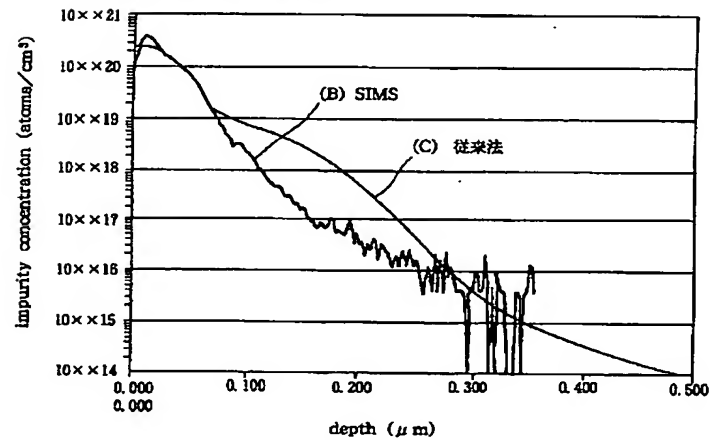
【図 1 6】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 100sec)



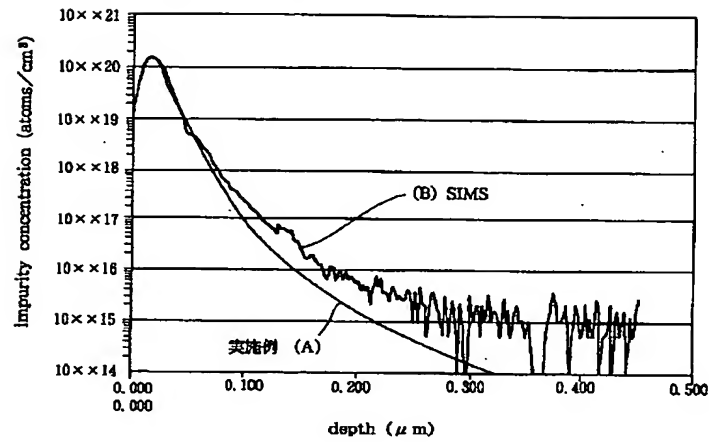
【図 1 7】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 100sec)



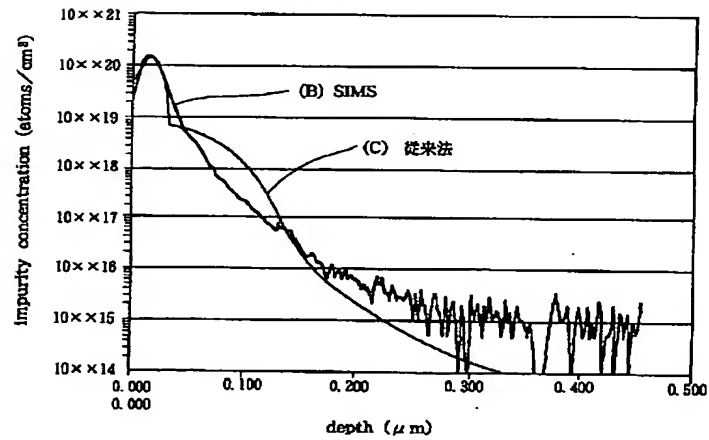
【図 18】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900℃ , 拡散時間 1sec)



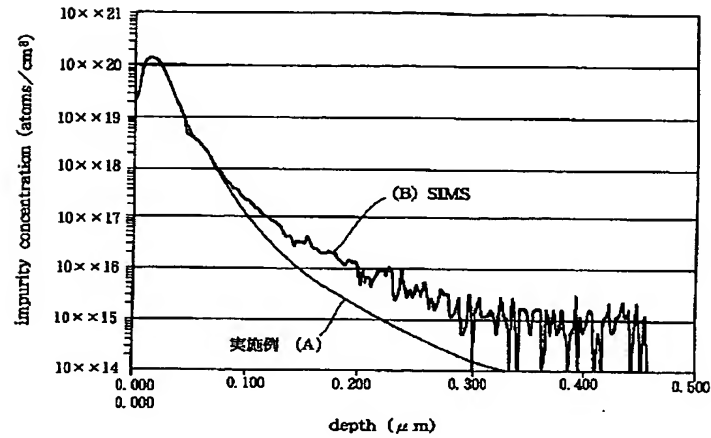
【図 19】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900℃ , 拡散時間 1sec)



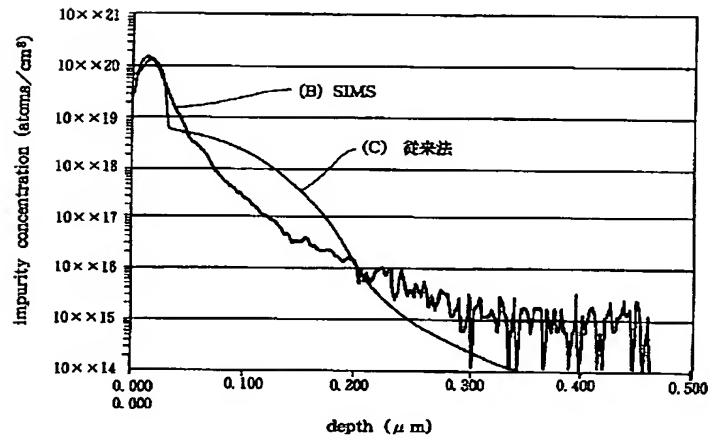
【図 20】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 3sec)



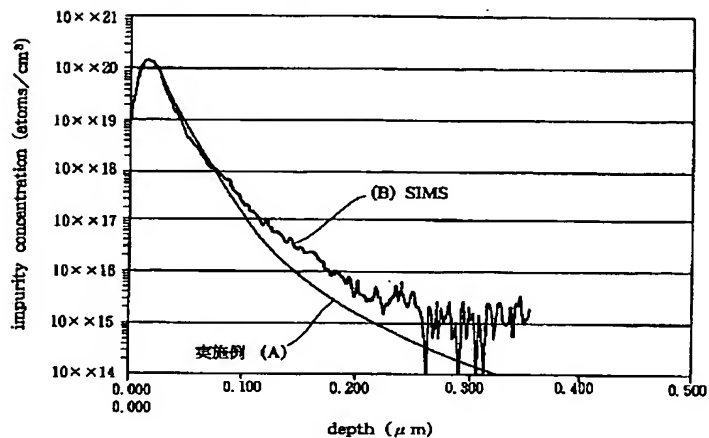
【図 21】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 3sec)



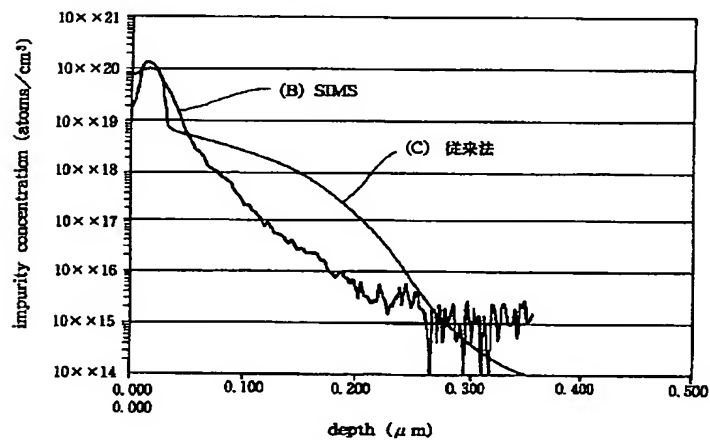
【図 2 2】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 10sec)



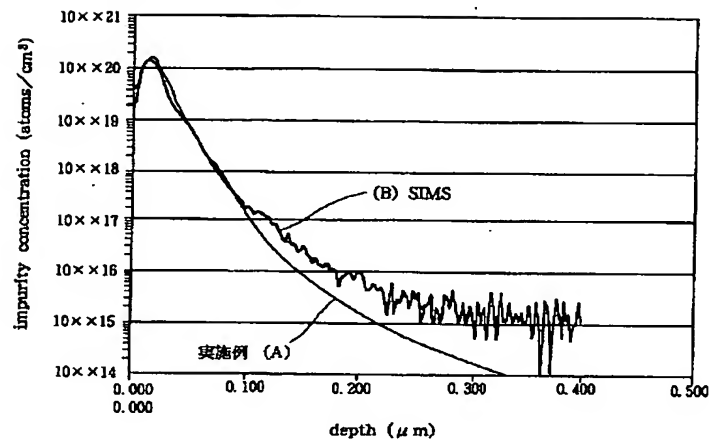
【図 2 3】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 10sec)



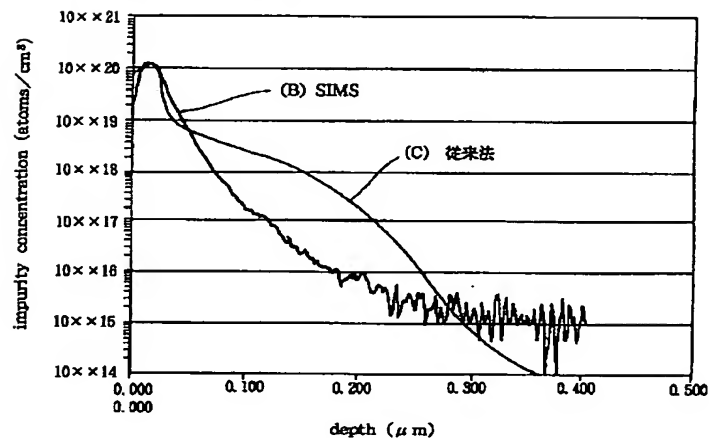
【図 2 4】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900℃ , 拡散時間 30sec)



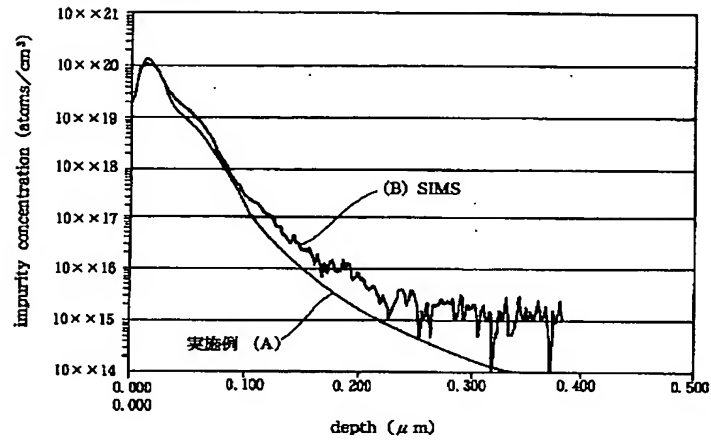
【図 2 5】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900℃ , 拡散時間 30sec)



【図 2 6】

実施例 1 の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 100sec)



【図 2 7】

従来技術の計算結果と SIMS の測定結果
 (注入イオン種 BF_2 , 注入エネルギー 20keV , ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$,
 拡散温度 900°C , 拡散時間 100sec)

